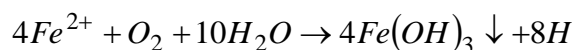
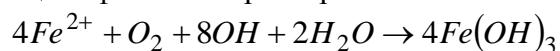


## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ НА ВИЛУЧЕННЯ ЗАЛІЗА ІЗ ПІДЗЕМНИХ ВОД ФІЛЬТРУВАННЯМ

Олійник О.Я., Телима С.В., Кремез В.С.  
Інститут гідромеханіки НАН України, Київ  
e-mail: [kremezvitasem@gmail.com](mailto:kremezvitasem@gmail.com)

В багатьох регіонах України водоносні горизонти, із яких, переважно, відбувається забір підземних вод для забезпечення населення питною водою, мають підвищений вміст заліза, який значно перевищує існуючі нормативні вимоги.

В сучасних умовах найбільш розповсюдженим методом вилучення сполук заліза з води є фільтрування через зернисте завантаження з природних чи штучних зернистих матеріалів в спеціальних установках, основним технологічним елементом яких є фільтр. В звичайних умовах в підземних водах при відсутності розчиненого кисню і других окислювачів присутня, переважно, форма розчиненого заліза у вигляді іонів  $Fe^{2+}$  чи його нестійких закисних форм різних солей. При взаємодії з розчиненим киснем, який подається у фільтруючу воду, двовалентне залізо окислюється в трьохвалентне, потім гідролізується в колоїдний чи суспензований гідроксид заліза  $Fe(OH)_3$  у вигляді мулопластівців відповідно до записаних формул хімічних реакцій і фазових перетворень



При цьому процеси, які відбуваються у фільтрі можна описати наступним чином:  $Fe^{2+}$  адсорбується на поверхні зерен завантаження, утворюючи моношар із  $Fe^{2+}$  (каталітична плівка). При цьому окислення  $Fe^{2+}$  відбувається як на поверхні завантаження адсорбованим киснем  $O_2$ , утворюючи плівку із молекул  $Fe(OH)_3$ , так і на випавшому в осад  $Fe(OH)_3$ , і у вільному міжпоровому просторі. З часом відбувається дегідратація осаду, тобто його ущільнення (старіння) що буде впливати на гідродинамічні характеристики фільтраційного потоку.

Ефективність вилучення заліза  $Fe^{2+}$  залежить від наявності розчиненого кисню в рідині, який, в значній мірі, визначає характер процесу протікання реакцій (кінетику окислення). В існуючих дослідженнях, які, в основному, проводились в умовах очистки підземної води від заліза при концентраціях, які не перевищують 10 мг/л, вважалось, що забезпечення киснем в достатній кількості (більш ніж 3-5 мг/л) можна забезпечити технологією спрощеної аерації. В цьому випадку без відповідного наукового обґрунтування вважалось, що кінетика окислення в достатній кількості забезпечена киснем і в наукових розробках (моделях і розрахунках) наявність кисню можна не враховувати. Тому важливим питанням при вирішенні зазначеної проблеми є оцінка впливу споживання кисню при знезалізненні води в широкому діапазоні концентрацій  $Fe^{2+}$  і обґрунтування його забезпечення в достатній кількості на етапі роботи фільтра.

Для вирішення цієї проблеми авторами розроблено більш повну математичну модель фільтрування двофазного потоку (залізо і кисень), яка враховує гідродинамічні і фізико-хімічні процеси масопереносу і кінетики обміну, що відображає накопичення і трансформації різних форм заліза і кисню в поровому розчині і на зернах затопленого фільтра. Основу математичної моделі складають фундаментальні рівняння фільтрації води, конвективно-дифузійного масопереносу розчинених хімічних сполук з урахуванням різноманітних фізико-хімічних і біохімічних фазових перетворень. Особливу увагу приділено обґрунтуванню

замикаючих співвідношень, що відображають залежність коефіцієнта фільтрації і пористості від концентрації нерухомого осаду при різних типах утворення осаду (поверхнева, об'ємна і комбінована).

Розв'язання рівнянь загальної математичної моделі з відповідними початковими і граничними умовами отримано чисельним методом кінцевих різниць (МКР) за допомогою розробленої програми для ПК, проведено розрахунки багаточисельних методичних і реальних інженерних задач.

Окрім розробленої загальної моделі знезалізнення обґрунтовано спрощені інженерні моделі для двох стадій процесу знезалізнення води і отримано формули задля визначення необхідної швидкості фільтрування і концентрації кисню у вхідному перетині фільтра. В межах першої стадії, що має місце на початку процесу, а також, коли формування залізної плівки на зернах відбувається надто повільно і кількість утвореного осаду буде незначною, має місце гомогенне окислення  $Fe^{2+}$  і утворення осаду гідроксиду заліза  $Fe(OH)_3$ , переважно в розчині. В цьому випадку можливо знехтувати дифузійним членом у рівнянні масопереносу, вплив якого буде незначним при  $1/Pe \rightarrow 0$  ( $Pe = D/VL$  - відомий безрозмірний критерій Пекле) згідно з прийнятою технологією очищення швидкість фільтрування  $U = const$ . Тоді згідно прийнятих значень реакцій окислення і констант обміну для цієї стадії процесу система рівнянь вилучення  $Fe^{2+}$  в затопленому фільтрі була спрощена, що дозволило отримати аналітичний розв'язок рівнянь. Для другої стадії гетерогенного окислення переважно на твердій фазі з утворенням залізної плівки із гідроксиду заліза  $Fe(OH)_3$ , яка настає при  $t > n_c x/v$ , також, отримано аналітичний розв'язок спрощених рівнянь.

Співставлення результатів чисельних розрахунків по повній моделі і за формулами, що отримані аналітичними методами на підставі спрощених моделей у визначеному діапазоні конструктивних і технологічних параметрів показало, що спостерігається достатнє узгодження точних і наближених значень. Тому запропонована методика наближеного розрахунку кисневого режиму (тобто, швидкості фільтрування і потрібної концентрації розчиненого кисню у вхідному перетині фільтра при вилученні заліза із підземних вод) і оптимізації режиму очистки для різних типів фільтрів може бути використана при проектуванні очисних фільтраційних споруд.

---

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ «ЗАРЯДКИ» ФІЛЬТРІВ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИМ ТА ЦЕОЛІТОВИМ ЗЕРНИСТИМИ ЗАВАНТАЖЕННЯМИ

**Онанко Ю.А., аспірант**

**Науковий керівник – Чарний Д.В., д.т.н.**

*Інститут водних проблем і меліорації НААН, Україна, м. Київ, [uaonanko1@gmail.com](mailto:uaonanko1@gmail.com)*

Незважаючи на достатньо різноманітний спектр фізичних властивостей існуючих зернистих фільтрувальних завантажень, більшість стадій фільтрування через них є подібними для різних завантажень. Виняток складає початкова стадія фільтрування, яку прийнято називати «зарядкою» фільтра. Пов'язано це з тим, що саме під час неї і проявляється уся різноманітність фізичних властивостей фільтрувальних завантажень. Це тягне за собою значну відміну у природі механізмів та кінетиці процесів взаємодії фільтрувального завантаження з колоїдними частинками, що містяться в очищуваній водній суспензії.